

Käsiteltyjen hakkeiden lämpötilaseuranta konttikokeissa

Sampo Saajoranta

Opinnäytetyö
Marraskuu 2017
Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma
Luonnonvara- ja ympäristöala

Tekijä(t) Saajoranta Sampo	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 011/2017
	Sivumäärä 34	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Käsiteltyjen hakkeiden lämpötilaseuranta konttikokeissa		
Tutkinto-ohjelma Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma, agrologi		
Työn ohjaaja(t) Jaakko Tukia		
Toimeksiantaja(t) Mikrobitoiminnan rajoittaminen energiahakkeen aumavarastoinnissa – hanke		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Haketta varastoidaan usein suurissa aumoissa. Suomen haasteelliset sääolosuhteet vaikuttavat hakkeen kuivana pysymiseen ja hakkeen laatuun. Hake voi homehtua tai jopa syttyä palamaan aumassa. Opinnäytetyö oli osa ”Mikrobitoiminnan rajoittaminen energiahakkeen aumavarastoinnissa” – hanketta. Tavoitteena oli seurata lämpötilan muutoksia hakkeessa.</p> <p>Opinnäytetyön kokeellisena osana hakkeet käsiteltiin kolmella eri tavalla, joilla pyrittiin estämään hakkeen laadun huononeminen säilytyksen aikana. Käsiteltyjä hake-eriä verrattiin käsittelemättömään hakkeeseen lämpötilamuutosten avulla. Näin tutkimuksessa saatiin selville miten tuoreet, yhdisteillä käsiteltyt hake-erät reagoivat lämpötilojen muutoksiin.</p> <p>Tuloksia lämpötilojen seurannassa saatiin Datataker- tiedonkeräimellä. Tiedonkeräimeen laitettiin vastuslämpötila pt100 antureita, jolloin hake-eristä saatiin luotettavaa tietoa lämpötilojen vaihteluista. Datatakerin raakadata muutettiin taulukoiksi.</p> <p>Koejärjestelyssä havaittiin sekä käsittelemättömien hakkeiden, että käsiteltyjen hakkeiden lämpötilojen seuraavan varastokontin lämpötiloja.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
hake, hakkeen aumaus ja hakkeen lämpötilan seuranta.		
Muut tiedot		

Author(s) Sampo Saajoranta	Type of publication Bachelor's thesis	Date 011/2017
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 34	Permission for web publication: x
Title of publication Title Processed wooden chips temperature research of container		
Degree programme Country business degree-program, agrologist		
Supervisor(s) Tukia Jaakko		
Assigned by Inhibition of microbial activities in the pile of energy wood chips during the storage - research		
<p>Abstract</p> <p>Wooden chips are often stored in large wood chip stacks. The challenging weather conditions in Finland affect keeping the wooden chips dry and in quality. Without any preservatives, wood chips can grow moldy or even burn in wood chip stacks. The research conducted was part of the project called "Inhibition of microbial activities in the pile of energy wood chips during the storage". The target was to research wood chips storing, their and how changes in temperatures affect wooden chips.</p> <p>During the research, dried stalk and tree-length wood chips were used. Three different processing methods were used during the trial period. This is how it was discovered during the research how not dried, processed wood chips trial heats react to the chancing outside temperatures.</p> <p>In temperature follow-up information was collected with Datataker datalogger. To get reliable information of temperature variations, datalogger was equipped with temperature resistance sensors, model Pt 100. Raw data from datalogger was changed to tables.</p> <p>In experimental setup temperature variation in both treated and untreated wood chip containers were observed to follow the temperature in storage container.</p>		
Keywords/tags (subjects)		
Wooden chips, wooden chips stack and temperature.		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto.....	3
2	Tutkimusasetelma	4
2.1	Hakkeen varastointi aumassa.....	4
2.2	Tutkimusongelma	4
2.3	Tutkimuskysymys ja tavoite	5
2.4	Tutkimushankkeeseen liittyvän opinnäytetyön aineiston kerääminen	6
2.5	Aineiston analysointi ja käsittely	7
2.6	Opinnäytteen kvantitatiivisen eli määrällisen tutkimuksen toteutus.....	7
2.7	Käsitelmäärittelyt	8
3	Opinnäytetyössä kerätyn aineiston keräysmenetelmä, toteutettujen mittausten luotettavuus ja toistettavuus	10
3.1	Tutkimusaineiston keräysmenetelmät.....	10
3.2	Keräysmenetelmän tarkkuus.....	10
3.3	Mittausten toistettavuus.....	10
4	Teoriaa hakkeen käsittelystä.....	11
4.1	Tutkimuksessa käytetty raaka-aine	11
4.2	Aiemmat tutkimukset.....	11
4.3	Lämpötilaseurannan toteutus	14
4.3.1	Datataker	14
4.3.2	Tiedonkeruun häiriötekijät	15
5	Tutkimustulokset.....	16
5.1	Käsitlemättömät hake-erät	17
5.2	Käsitelty- ja käsitlemättömät kokopuu ja rankapuu hake-erät A1	18
5.3	Käsitelty- ja käsitlemättömät kokopuu ja rankapuu hake-erät A2	20
5.4	Käsitelty- ja käsitlemättömät kokopuu ja rankahake-erät A3	22
5.5	Käsitelty- ja käsitlemättömät kokopuu- ja rankapuu hake-erät A4	24
6	Johtopäätökset.....	25

7	Pohdinta	26
	Lähteet.....	27
	Liitteet	29
	Kuviot.....	30
	Kuvio 2. Käsitlemätön kokopuuhake ja kokopuuhake A1	30
	Kuvio 3. Käsitlemätön karsittu rankahake ja karsittu rankahake A1	30
	Kuvio 4. Käsitlemätön kokopuuhake ja A2 kokopuuhake.....	30
	Kuvio 5. Käsitlemätön karsittu rankahake ja karsittu rankahake A2	30
	Kuvio 6. Käsitlemättömät kokopuuhake ja A3 kokopuuhake	30
	Kuvio 7. Käsitlemätön karsittu rankahake ja A3 karsittu rankahake	30
	Kuvio 8. Käsitlemättömät kokopuuhake ja kokopuuhake A4.....	30
	Taulukot.....	31

1 Johdanto

Opinnäytetyöni aihe liittyy käsitellyn hakkeen lämpötilaseurantaan konttikokeissa. Työssä seurattiin hakkeen lämpötilamuutoksia jatkuvatoimisilla lämpötilamittauksilla.

Hakkeen lämpötila käyttäytymistä seurattiin jatkuvatoimisilla lämpötilamittauksilla. Oletuksena oli, että lämpötilan mahdollinen nouseminen kuvaa hakkeessa olevien mikrobien tekemän hajotustyön määrää. Käsiteltyjen hakkeiden lämpötilamittausten tuloksia verrattiin käsittelemättömiin hakkeisiin. Tämän lisäksi toteutettiin silmämääräistä hakkeen laadun muutosta kokeiden aikana.

Lämpötilan mittauksissa käytettiin jatkuvatoimista tiedonkeräintä. Jokaiseen koeerään laitettiin lämpötila-anturi. Tämän lisäksi seurattiin tutkimuksessa käytetyn varastokontin lämpötilaa erillisen anturin avulla.

Tavoitteena oli, että opinnäytetyöstä hyötyvät hakkeen varastointia harjoittavat lämpöyrittäjät, yhtymät ja osuuskunnat. Hyvänlaatuinen hake takaa paremman energiasisällön voimalaitoksella.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Hakkeen varastointi aumassa

Hakkeen varastointiin vaikuttavat monet eri tekijät. Näitä ovat hakkeen alkukosteus, ilman suhteellinen kosteus ja ilman virtausnopeus. Myös puulajikohtaiset ominaisuudet sekä sade ja aurinko vaikuttavat hakkeen säilyvyyteen (Raitila 2014, 24). Tuoreena hakkeen kosteus on 45–60% puulajista riippuen (alkukosteus). Havupuut ovat kosteampia, kuin lehtipuut.

Hakkeeseen vaikuttaa ilman suhteellinen kosteus, joka tarkoittaa ilmassa olevan vesihöyryn tiivistymistä vetenä hakkeeseen. Sateella ja auringolla on suuri merkitys hakkeen säilyvyyteen. Sade lisää tuoreen hakkeen kosteutta entisestään. Kuivaan hakkeeseen tulee kosteuden myötä hometta, joka pilaa sen ja vähentää hakkeen kuiva-ainepitoisuutta (Raitila 2014, 24.)

2.2 Tutkimusongelma

Tutkimuksen tavoitteena oli kuvata lämpötilamuutosten avulla eri menetelmillä käsiteltyjen hakkeiden säilyvyyttä. Hakkeen säilyminen riippuu varastoauman olosuhteista, kuten lämpötilasta, kosteudesta ja ilman virtauksesta auman sisällä. Liian korkea lämpötila, liian suuri kosteus tai huono ilmavirtaus voivat yksin tai yhdessä johtaa mikrobien voimakkaaseen kasvuun hakeaumassa. Mikrobien lisääntyminen johtaa hakkeen hajoamiseen ja kompostoitumiseen. Tämä johtaa edelleen hakkeen energia- ja materiaalihäviöihin.

Hakkeen aumakuivauksesta tehdyissä tutkimuksissa on usein päädytty siihen, että luonnonkuivaus suuressa aumassa johtaa energia- ja materiaalihäviöihin, koska aumassa hake kuivaa vain sisäosista ulompien kerrosten säilyessä kosteina. On todettu, että varastoinnin seurauksena keskimääräinen kosteus jopa lisääntyy. Hakkeen keinokuivausta on tutkittu lähinnä pienemmän mittakaavan kohteissa kuten maatiloilla. (Haikonen, T. 2005, 10.)

2.3 Tutkimuskysymys ja tavoite

Tutkimuksessa kokeiltiin eri tavalla käsiteltyjen (3kpl) ja käsittelemättömien hakkeiden lämpötilamuutoksia varastoinnin aikana.

Aiheen tärkeimpiä kysymyksiä olivat hakkeen varastointi sekä lämpötilan seuranta. Konttikokeiden aikana haettiin vastausta lämpötilan muutoksiin konteissa ja lämpötilojen eroavaisuuksiin eri käsittelymenetelmillä. Vastauksia haettiin myös käsiteltyjen hake-erien lämpötilamuutoksien eroavaisuuksiin referenssi- eli käsittelemättömään hakkeeseen verrattuna sekä mittaamisen käytetyn tekniikan soveltuvuuteen lämpötilaseurannassa.

Testauksessa käytettyjä hakelaatuja olivat tuore kuivaamaton rankahake ja kokopuu-hake. Neljä rankahakenäyte-erää ($<1\text{m}^3$) käsiteltiin ulkoisesti ennen konttiin laittamista. Sama käsittely toteutettiin myös kokopuuhakkeelle. Kummastakin raaka-aineesta varastoitiin oma käsittelemätön näyte-erä (referenssi). Referenssihake eli käsittelemätön hake ja käsitelty hake-erät laitettiin tuhannen litran muovikontteihin, jotka suljettiin varastotilana toimineeseen metallikonttiin lämpötilojen seuraamista varten. Tiedot lämpötilojen vaihteluista kerättiin jatkuvatoimisen tiedonkeruulaitteen avulla.



Kuva 1. Lämpötilamittauksia varten hake-erät varastoituihin 1000 litran muovikontteihin

2.4 Tutkimushankkeeseen liittyvän opinnäytetyön aineiston kerääminen

Tutkimus oli osa ”Mikrobitoiminnan rajoittaminen energiahankkeen aumavarastoinnissa” – hanketta.

Tärkeimpiä tiedonlähteitä olivat tiedonkeruussa käytetyn Datataker-loggerin ohjekirja ja hakkeeseen liittyvät opinnäytetyöt ja tutkimukset. Tietoperustana käytettiin myös bioenergiaan liittyvää kirjallisuutta ja raportteja sekä internet -sivustoja.

2.5 Aineiston analysointi ja käsittely

Opinnäytetyö perustui kvantitatiiviseen, eli määrälliseen tutkimustapaan, jossa kerättiin yksityiskohtaista tietoa syy- ja seuraussuhteiden selvittämiseksi. Määrällisellä tutkimuksella tarkoitetaan tässä lämpötilojen ja niiden vaihteluiden jatkuvatoimista seurantaan siten, että voidaan selvittää lämpötilan muutoksen vaikutusta hakkeen säilyvyyteen.



Kuva 2. Tiedonkeruussa käytetyn Datatakerin vastuslämpötila-anturi pt100

2.6 Opinnäytteen kvantitatiivisen eli määrällisen tutkimuksen toteutus

Opinnäytetyössä tietoa kerättiin Datataker – loggeriin, eli kerättiin raakadataa jatkuvatoimisesti lämpötilojen vaihteluista. Tiedonkeruujakson päätyttyä aineisto muunnettiin Excel -taulukoinnilla lämpötilalukemiksi ja taulukoiksi.

Perusajatuksena oli, että hakkeen jatkuvatoimisella lämpötilan mittaamisella voidaan havainnoida mikrobiuotannosta syntyviä lämpötilan muutoksia varastoinnin aikana. Samanaikaisesti oletettiin, että hakkeen lämpötila kasvaa mikrobiaktiivisuuden lisääntyessä käsittelemättömässä hakkeessa ja mikrobiaktiivisuus laskee käsitellyissä hakkeissa.

VTT:n tutkimuksessa todetaan mikrobitoiminnalle syntyvän otolliset olosuhteet, kun hakkeen kosteus on 30-60% ja lämpötila 20-30 astetta. Kuiva-aineen kemiallista hajoamista tapahtuu merkittävästi vasta lämpötilan ylitettyä 40 astetta, jolloin puolestaan mikrobien ja lahottajasienten toiminta jo estyy. (Raitila, J, Virkkunen M ja Heiskanen V-P. 2014, 26.)

2.7 Käsitemäärittelyt

Laikkahakkuri on Suomen yleisin traktorikiinnitteinen pienen kokoluokan hakkuri. Sillä voidaan tehdä tasalaatuista haketta, mutta se tarvitsee tasalaatuista karsittua rankaa, kokopuuta tai sahapintoja. Laikkahakkurin terärakenne on heikko, joten latvusmassa ei sovellu käytettäväksi siinä. Laikkahakkurissa palakokoa voidaan muuttaa säätämällä terien etäisyyttä vastateristä.



Kuva 3. Laikkahakkuri

Rumpuhakkurit ovat tehokkaamman kokoluokan hakkureita, joten niitä voidaan liittää kuorma-autoihin. Rumpuhakkurit soveltuvat karsitun rangan, kokopuun, sahapintojen ja latvusmassan haketukseen. Suurtehorumpuhakkureilla voidaan hakettaa myös risutukkeja. Rumpuhakkurin heikkous on se, että se tekee pitkiä tikkumaisia hakepaloja, jotka voivat aiheuttaa ongelmia lämpölaitoksen hakekuljettimella. Hakkurin palakokoa voidaan säätää erikokoisten seulojen avulla.

(Lepistö, T.2010, 6.)

Metsähaketta on monta eri tyyppiä. Niitä ovat karsittu rankahake, karsimaton pienpuu eli kokopuuhake, hakkuutähteet tehty hake, järeä runkopuuhake, kanto- ja juurakkohake sekä kuitupuuhake.

Karsitulla rankahakkeella tarkoitetaan pieniläpimittaisista runkopuista tehtyä haketta (rankahake). Rankahaketta tehdään kunnostettavista taimikoista ja nuorista harvennusmetsistä tai näiden karsituista hakkuutähteistä.

Kokopuuhaketuksessa puusta käytetään koko maanpäällinen osa (runko, oksat, lehdet ja neulaset). Haketta valmistetaan yleensä pienläpimittaisesta puusta, jota saadaan taimikonhoidossa tai nuoren metsän harvennuksesta.

Hakkuutähteistä tehtyä haketta syntyy lähinnä avohakkuista jäävästä metsäpuuaineesta. Hakkuutähdettä ovat risut, lehdet, neulaset (oksa- ja latvusmassa) sekä alueelle jääneet hylkypölkyt. Tähän luetaan myös avohakkuusta polttihakkeeksi korjattu karsimaton latvakuitupu.

Järeää runkopuuhaketta valmistetaan puunkorjuun yhteydessä kaadetuista ja kerätyistä järeistä, mutta vikaisista tai pystyyn kuivaneista runkopuista. Vikaisuudesta johtuen puut eivät kelpaa metsäteollisuuden raaka-aineeksi.

Kannoista ja juurakoista valmistetaan haketta tai mursketta suuritehoisilla murskaimilla. Tähän kuuluvat myös turpeen noston yhteydessä maasta kaivetut liekopuut.

Kuitupu on metsäteollisuuden raaka-ainetta, mutta sitä käytetään myös energiantuotannossa.

(Torvelainen, J. 2014, luku 1.2)

3 Opinnäytetyössä kerätyn aineiston keräysmenetelmä, toteutettujen mittausten luotettavuus ja toistettavuus

3.1 Tutkimusaineiston keräysmenetelmät

Tutkimusaineisto kerättiin Datataker -loggerin avulla, jolla saatiin raakadataa hakkeiden lämmönvaihteluista. Menetelmää voidaan pitää luotettavana, jos kokeen suunnittelu, valmisteluja ja toteutus on tehty huolella. Tietoa kerättiin myös silmämääräisesti havainnoimalla kokeen päättämisen yhteydessä. Erityisesti kiinnitettiin huomiota hakkeen ulkonäköön (kosteus, home).

Tiedon keruussa käytetty anturi oli tyyppiä Pt-100lämpötila-anturi. Kyseinen anturi on valmistettu platinasta ja mittaus perustuu vastusmittausperiaatteeseen. Vastuksen arvona käytetään ohmia ja lämpötilan ollessa 0 celsiusastetta vastuksen arvo on 100 ohmia. Platinalla on positiivinen resistanssinlämpökerroin, joka tarkoittaa sitä, että vastus kasvaa lämpötilan noustessa. (SKS automaatio Oy. <http://www.skssensors.fi/faq/miten-pt100-anturi-toimii/>.)

3.2 Keräysmenetelmän tarkkuus

Karsittu rankapuuhiake – ja kokopuuhiake ovat omia kokonaisuuksia. Tarkoituksena oli saada enemmän tietoa lämpötilojen vaihteluista ja samalla vähennettyä tai poistettua mahdollisia mittaamiseen liittyviä epätarkkuuksia. Samalla selvitettiin mittaamiseen käytetyn tekniikan soveltuvuutta.

3.3 Mittausten toistettavuus

Tutkimuksessa Datatakerin tuomat tulokset auttoivat saamaan tietoa siitä, miten lämpötila vaihteli muovikonteissa käsittelemättömissä hakkeissa ja eri aineilla käsitellyissä hakkeissa seurantajakson aikana.

Haketestejä tehtiin alkusyksystä alkutalveen. Tällä ajanjaksolla oli mahdollista todeta, kuinka käsitellyt tai käsittelemättömät hake-erät käyttäytyivät muovikontissa varastointikokeen ajan.

4 Teoriaa hakkeen käsittelystä

Biopolttoaineen kuivumiseen ja hajoamiseen varastoinnin aikana vaikuttavat materiaalin sisältämät ravinnemäärät, happipitoisuus aumassa, palakoko, hakkeen alkukosteus sekä auman muoto, koko ja lämpötila. Aumaan vaikuttaa myös veden, lämmön ja hapen kulkeutuminen. Kun hake kuivataan alle 30 % kosteuteen, mikrobiologinen hajoaminen vähenee. Mikrobiologista hajoamista tapahtuu pääosin yli 30 % kosteudessa sekä hakkeen lämpötilan ollessa 20–60°C. Lämpötilan kasvaessa hakkeessa tapahtuu myös kemiallista hajoamista.

(Haikonen, T. 2016, 10.)

4.1 Tutkimuksessa käytetty raaka-aine

Syksyn tutkittavat hake-erät toimitti koululle paikallinen viljelijä, Veikko Lahtela. Hän haketti puuta Junkkari HJ5M laikkahakkurilla ja toimitti haketta 8 kertaa lokakuun 5:stä päivästä aina marraskuun 4. päivään saakka. Haketuksessa käytettiin havupuita ja lehtipuita, kuten koivua ja pihlajaa. Haketta tehtiin tarpeen mukaan tuoreesta puusta ranka- ja kokopuuhakkeeksi. Hake-erän tekoon meni puolituntia-tunti riippuen siitä, oliko toimitettava erä yksi tai kaksi säkkiä. Kokopuuhakkeen teossa meni enemmän aikaa, koska oksien haketus kesti kauemmin. Kaikkiaan haketta tehtiin 5,6 m³, josta rankahaketta oli 3m³ ja kokopuuhaketta 2,6m³. (Lahtela, V. 2016.)

4.2 Aiemmat tutkimukset

Hakkeen kuivausvarastointiin löytyy tutkimuksia ja opinnäytetöitä, mutta varsinaiseen aumaukseen löytyy vain vähän opinnäytetöitä ja tutkimuksia.

Motiva on tehnyt tutkimuksen biopolttoaineen aumakuivauksesta. Energiapuun varastoinnista on tehty joitakin opinnäytetöitä, kuten esimerkiksi Energiapuun varastointiohje: raaka- ja bioenergian välivarastointi Keski-Suomessa ja mankeliin menevän hakevirran optimointi. Aiheesta on löytynyt myös joitakin hake-aumoja koskevia uutisia, joissa kerrotaan hakeaumojen tulipaloista.

Hakkeen lämpötila käyttäytymistä selvitettiin Tuula Tirrosen opinnäytetyössä Hakkuu tähdehakkeen aumavarastoinnissa tapahtuvat muutokset ja niiden vaikutukset hakkeen kuiva-aine tappioon. Tutkimuksessa selvitettiin hakkeen lämpötilamuutoksia asettamalla hakeaumaan termoelementtejä, joiden tiedot kerättiin minuutin välein lämpötilaloggeriin. Lämpötilaelementit asetettiin noin kolmen metrin syvyyteen ja yksi elementti mittasi ulkoista lämpötilaa. Käytetty hake oli melko tuoretta ja siinä oli mukana runsaasti ravinteikasta vihermassaa. Lähtökohtana oli, että olosuhteet olivat hyvät mikrobitoiminnalle ja auma säilyttäisi korkean lämpötilan. Lopputulos kuitenkin oli, että auma kuivui nopeasti ja jo noin kuukauden kuluessa varastoinnin alusta lämpötilat lähtivät laskuun ja lasku jatkui tutkimuksen loppuun asti. (Tirronen, T. 2016, 31.)

Tutkimuksessa Polttohakkeen varastointi suurissa aumoissa selvitettiin lähinnä auman peittämisen vaikutusta hakkeen säilyvyyteen aumassa. Varastoinnin aiheuttamia puuaineen muutoksia selvitettiin mittaamalla hakkeen kosteutta, tiheyttä, lämpöarvoa ja tuhkapitoisuutta, jotka kerättiin sekä aumauksen, että auman purkamisen yhteydessä. Tutkimuksessa todettiin aumojen lämpötilan riippuvan useista tekijöistä. Näitä ovat kosteus, varaston koko, raaka-aineen koostumus, palakoko, auman tiivistyminen, puulaji sekä auman tuuletus. Koko vuoden jatkuneessa tutkimuksessa todettiin lämpötilojen vaihtelevan ennen kaikkea vuoden ajan mukaan. Lämpötilat olivat korkeimmillaan syksyllä pian aumauksen jälkeen, mutta laskivat talven aikana. Kesällä lämpötilat jälleen kohosivat. Lämpötilojen todettiin olleen korkeampia auman sisällä kuin pinnassa ja korkeampia yläosassa kuin pohjalla. Samassa tutkimuksessa lämpötilojen olevan korkeampia niissä aumojen osissa jotka olivat koneellisesti tiivistettyjä. Tutkimuksen johtopäätöksenä oli, että aumojen kattaminen muovilla nosti lämpötiloja merkittävästi. (Nurmi, J. 1990, 6.)

Diplomityössä Rankahakkeen laadunhallinta aumavarastoinnissa selvitettiin, onko rankahakeaumojen peittäminen taloudellisesti kannattavaa. Tutkimuksessa todetaan vaikuttavista ympäristöolosuhteista kuivumisen kannalta keskeisiä olevan kuivauslämpötilan, ilman suhteellisen kosteuden, ilman virtausnopeuden, sateen ja auringon säteilyn. Tutkimuksessa seurattiin lämpötiloja aumoihin sijoitetuilla lämpötilasensoreilla. Sensorit sijoitettiin aumojen reunoissa noin 1,5-2 metrin korkeudelle ja auman keskellä olevat noin 4 metrin korkeudelle. Aumojen lämpötilaseurannasta todettiin, että mikäli lämpötilaseurantaa halutaan tehdä jatkuvasti, tulisi käyttää langallisia sensoreita tai kehittää langattomien sensorien luettavuutta hakkeen läpi. Paksu hake kerros sensorien päällä estää tehokkaasti signaalin kulkemisen ja tekee sensorien lukemisesta langattomasti lähes mahdotonta. (Himmanen, J. 2016, 53.)

Hakkeen tuotannon eri vaiheiden vaikutuksia hakkeen laatuun on esitetty Laatuhakkeen tuotanto-oppaassa korkealaatuisen hake polttoaineen tuottamiseen vaikuttavat useat tuotantoketjun tekijät. Oppaan mukaan tärkein yksittäinen työvaihe on varaston teko, sillä varastointi vaikuttaa suoraan hakkeen laatuun ja hakkeen käytön kustannuksiin. Käyttökohteet asettavat vaatimuksia hakkeen laadulle. Yleisesti voidaan todeta, että vaativimpia käyttökohteita ovat pienkohteet, kuten omakoti- ja maatalouskohteet. Hakkeen laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat myös työmaasuunnittelu, sekä ennen kaikkea haketettavan puun ja hakkeen varastointiin. Varastoinnissa vaikuttavia tekijöitä ovat varastopaikan valinta ja hyvä varaston rakenne sekä haketettavan puunvaraston peittäminen. Myös varastointiajalla voi olla huomattava vaikutus haketettavan puun laatuun. (Lepistö, T. 2010, 20.)

4.3 Lämpötilaseurannan toteutus

4.3.1 Datataker

Lämpötilaseurannan tiedonkeruu toteutettiin Datataker DT80 -tyyppisellä loggerilla, johon jokaisen testattavan hake-erän lämpötila-anturit oli liitetty, yhteensä 8 anturia. Tämän lisäksi ulkolämpötilaa mitattiin erillisellä anturilla. Lämpötila-anturit sijoitettiin kuhunkin hakekonttiin sen keskivaiheille siten, että anturin joka puolella oli riittävästi haketta. Anturi sijoitettiin verkosta tehtyyn pussiin, jonka tilavuus oli arviolta 1-1,5 litraa. Kukin pussi täytettiin hakkeella. Tämän jälkeen kontti täytettiin kokonaan siten, että hakkeista muodostui pieni auma. Täydet kontit varastoitiin kuorma-auton konttiin, jonka jälkeen anturit liitettiin tiedonkeruuyksikköön (datataker). Tämän lisäksi kaksi konttia sijoitettiin kattilantestauslaboratorioon tilan puutteen vuoksi. Näistä konteista lämpötila mitattiin kannettavalla mittarilla 3 kertaa viikossa.

Tiedonkeruu oli jatkuvatoimista. Kerätty tieto siirrettiin tietokoneelle viikon välein usb-muistitikun avulla. Kerätty tieto siirrettiin Excel-pohjalle. Kerätystä raakadatasta poistettiin ne ajanjaksot, jolloin anturit ei keränneet tietoa esim. huoltotöiden vuoksi. Tämän lisäksi kerätty tieto muunnettiin puolen asteen tarkkuudelle lämpötilan suhteen. Myös Excel taulukoiden otsikointi muutettiin ja lopuksi kerätyt tiedot muunnettiin taulukkomuotoon.



Kuva 5. Hakekonttiin sijoitettu lämpötila-anturi

4.3.2 Tiedonkeruun häiriötekijät

Tiedonkeruuseen aiheutti keskeytyksiä konttien huoltotyöt sekä konttien liikuttelu. Tiedonkeruu tuloksiin vaikuttivat jonkin verran kuorma-auto kontin ovien avaaminen, joka aiheutti sisälämpötilan laskua kauden pakkasjakson aikana. Lämpötilan ylläpitämiseksi konttiin asennettiin lämminilmapuhallin sekä lämpöpatteri. Tämän lisäksi mittausjakson aikana oli sähkökatkoja, jotka kestivät muutamasta minuutista noin puoleentoista tuntiin. Edellä mainituilla ei ollut suurta vaikutusta kokeen lopputulokseen.



Kuva 6. Datataker DT80 tiedonkeruuyksikkö

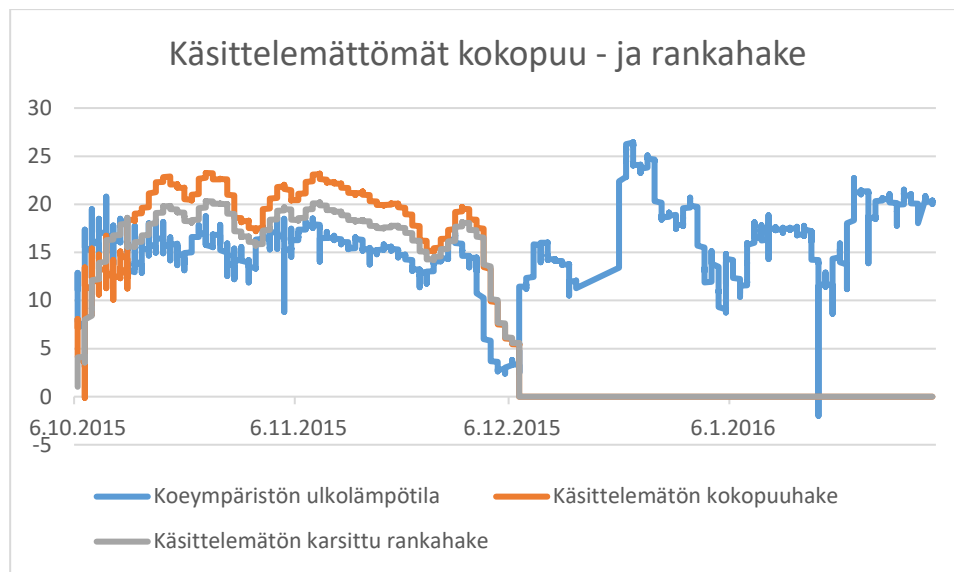
5 Tutkimustulokset

Tutkimus antoi hyviä ja mielenkiintoisia tuloksia varastointikokeista. Hakkeissa huomattiin joko vähäistä hometta, tai ei hometta ollenkaan. Tutkimuksen koejärjestely on esitetty alla olevassa taulukosta 1.

Taulukko 1.

Nimi	Käsittely	Konttikoodi	Materiaali
Kontti 1.	Ei	RFRH	Käsitlemätön kokopuuhake
Kontti 2.	Ei	RFKH	Käsitlemätön karsittu rankahake
Kontti 3.	Käsittely 1	A1 kokopuuhake	Kokopuuhake
Kontti 4.	Käsittely 1	A1 karsittu rankahake	Karsittu rankahake
Kontti 5.	Käsittely 2	A2 kokopuuhake	Kokopuuhake
Kontti 6.	Käsittely 2	A2 karsittu rankahake	Karsittu rankahake
Kontti 7.	Käsittely 3	A3 kokopuuhake	Kokopuuhake
Kontti 8.	Käsittely 3	A3 karsittu rankahake	Karsittu rankahake
Kontti 9.	Käsittely 4	A4 kokopuuhake	Kokopuuhake
Kontti 10.	Käsittely 4	A4 karsittu rankahake	Karsittu rankahake

5.1 Käsitlemättömät hake-erät



Kuvio 1. Käsitlemättömän kokopuuhake ja karsittu rankahake

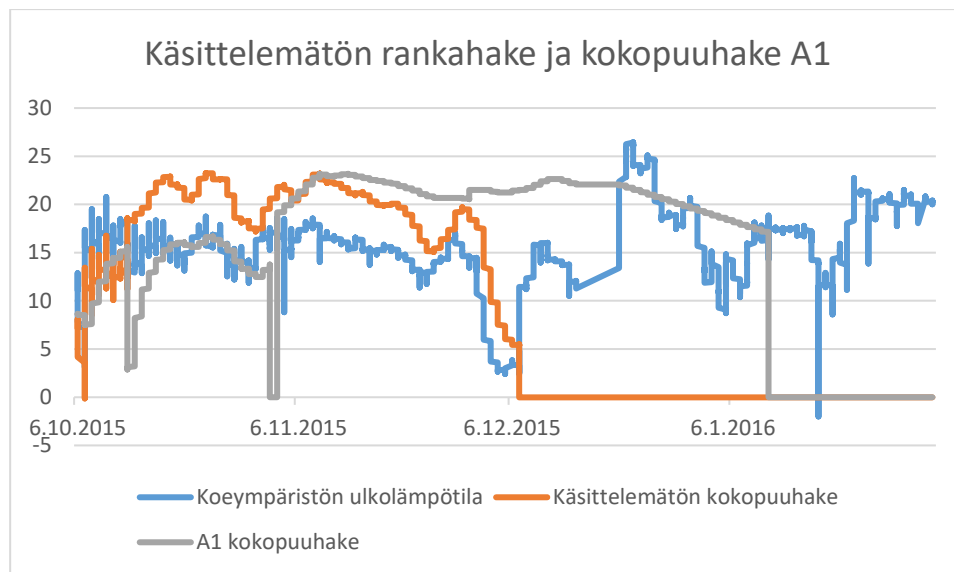
Koeympäristön lämpötila tarkoittaa rekan kontin lämpötilojen vaihtelua. Koeympäristön ulkolämpötilan suuri putoaminen 7. joulukuuta on tapahtunut lämpötilojen aleneminen ja se tarkoittaa, että kontista on otettu muovikontteja pois ja myös, että sähköt olivat tilapäisesti poikki tammikuussa. Käsitlemättömän kokopuuhakkeen ja käsitlemättömän rankahakkeen suuret lämpötilat tarkoittavat, että hake-erissä tapahtuu mikrobitoiminnan kasvua ja sen seurauksena homehtumista.

Myös referenssinä käytetty kokopuuhake todettiin homehtuneeksi. Kuten runkohakkeeseen, myös runkohakkeeseen olivat vaikuttaneet runkohakkeen kosteus, talven kosteat kelit ja lämmönvaihtelut muovikontissa. Karsittu rankahake oli hyvin limaista ja osittain mustan ja valkoisen sienirihmaston peittämää, kun se otettiin pois muovikontista.

Käsitlemättömän rankahakkeen ja käsitlemättömän kokopuuhakkeen lämpötilat seuraavat kontin sisälämpötilaa. Korkeimmalle nousevat referenssi rankapuuhakkeen lämpötilat, ylimmillään noin 23 asteeseen.

Voidaan olettaa, että kontin sisälämpötilan ja hakkeen lämpötilan noustessa myös mikrobien aktiivisuus kasvaa.

5.2 Käsittelyt- ja käsittelemättömät kokopuu ja rankapuuhake-erät A1

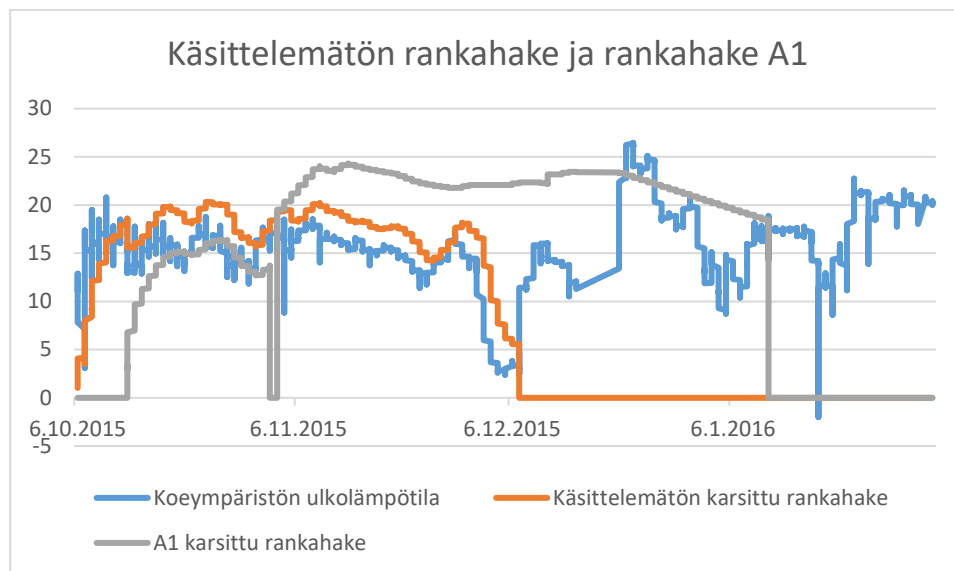


Kuvio 2. Käsittelemättömän kokopuuhake ja kokopuuhake A1

Koeympäristön ulkolämpötila pysyi jatkuvasti noin 15 °C asteessa joulukuun alkupuoleliskolle saakka. 7.12 referenssi hake-erät siirrettiin kontista tutkittaviksi. Hake A1 kokopuuhake siirrettiin kontista kattilantestauslaboratorion tiloihin. Konttiin tuotiin lisälämmitin joulukuun puolessavälissä. Tämän avulla kontin sisälämpötila saatiin nousemaan, mutta oikosulkujen aiheuttamat sähkökatkot vaikeuttivat lämpötilan pitämistä tasaisena.

Käsittelemättömän hakkeen lämpötila pysyi tasaisena hieman alle 20 °C asteen lämpötilassa mutta, hakkeessa tapahtui homehtumista, eli lämpötila oli riittävän korkea mikrobien kasvulle. lämpötila oli korkea. Hake oli kokeen alkaessa kostea ja tuoretta.

Käsitellyn kokopuuhakkeen lämpötila oli yllättävän korkea verrattuna referenssihakkeeseen. Tämä selittyy sillä, että hakekontti siirrettiin koulun hallitiloihin, jolloin se sai olla koko ajan tasaisessa lämpötilassa. Huolimatta yli 20 asteen lämpötilasta, käsitelty hake ei homehtunut.



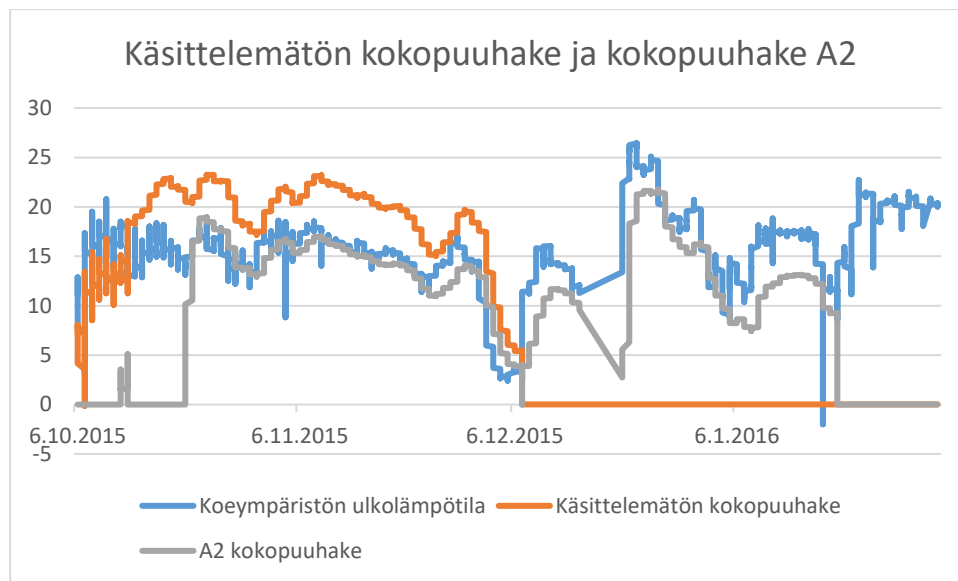
Kuvio 3. Käsittelemätön karsittu rankahake ja karsittu rankahake A1

Koeympäristön ulkolämpötila pysyi jatkuvasti noin 15 °C asteessa joulukuun alkupuolelille saakka. 7.12 referenssi hake-erät siirrettiin kontista tutkittaviksi. Hake A1 karsittu rankahake siirrettiin kontista kattilantestauslaboratorion tiloihin. Konttiin tuotiin lisälämmitin joulukuun puolessavälissä. Tämän avulla kontin sisälämpötila saatiin nousemaan, mutta oikosulkujen aiheuttamat sähkökatkot vaikeuttivat lämpötilan pitämistä tasaisena.

Käsittelemättömän hakkeen lämpötila pysyi tasaisena hieman alle 20 °C asteen lämpötilassa mutta, hakkeessa tapahtui homehtumista, eli lämpötila oli riittävän korkea mikrobien kasvulle. lämpötila oli korkea. Hake oli kokeen alkaessa kosteaa ja tuoretta.

Käsitellyn karsitun rankapuuhakkeen lämpötila oli yllättävän korkea verrattuna käsittelemättömän hakkeeseen. Tämä selittyy sillä, että hakekontti siirrettiin koulun hallitiloihin, jolloin se sai olla koko ajan tasaisessa lämpötilassa. Huolimatta yli 20 asteen lämpötilasta, käsitelty hake ei homehtunut.

5.3 Käsittelyt- ja käsittelemättömät kokopuu ja rankapuuhake-erät A2

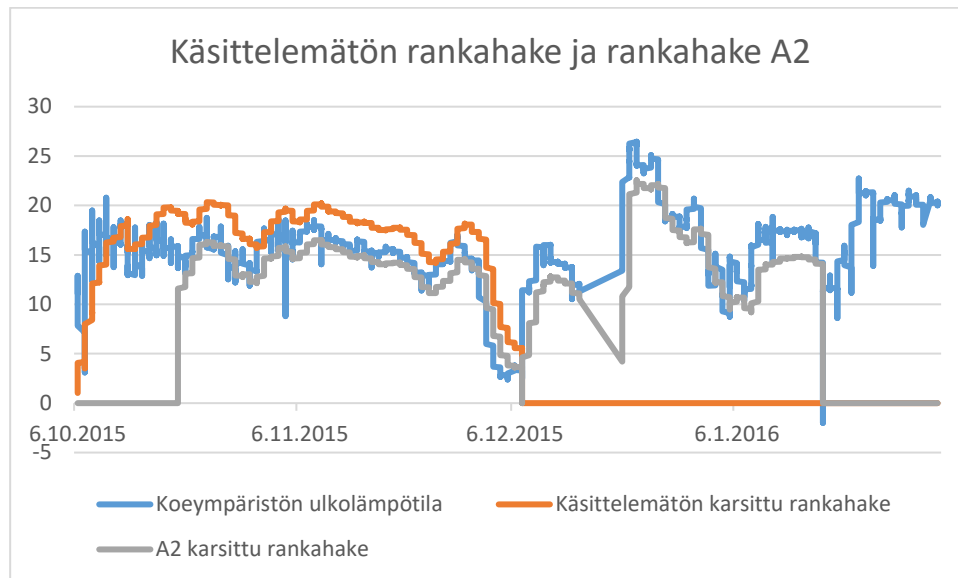


Kuvio 4. Käsittelemättömän kokopuuhake ja A2 kokopuuhake

Kontin ulkolämpötila oli alkusyksystä 15 °C molemmin puolin, kuten edellisissäkin kokeissa. Käsittelemättömän kokopuuhake otettiin pois kontista 7.12. Käsitelty kokopuuhake jäi edelleen konttiin.

Käsittelemättömän kokopuuhakkeen lämpötila seurasi jälleen kontin lämpötilan vaihteluita ja oli koko kokeen ajan 15-20 °C välissä.

Käsittelyn kokopuuhakkeen lämpötila seurasi tiiviisti kontin lämpötilaa, paitsi joulukuun lopulla, jolloin kontin lämpötila laski lähelle 10 astetta. Tällöin hakkeen lämpötila laski jopa alle 5 asteen.



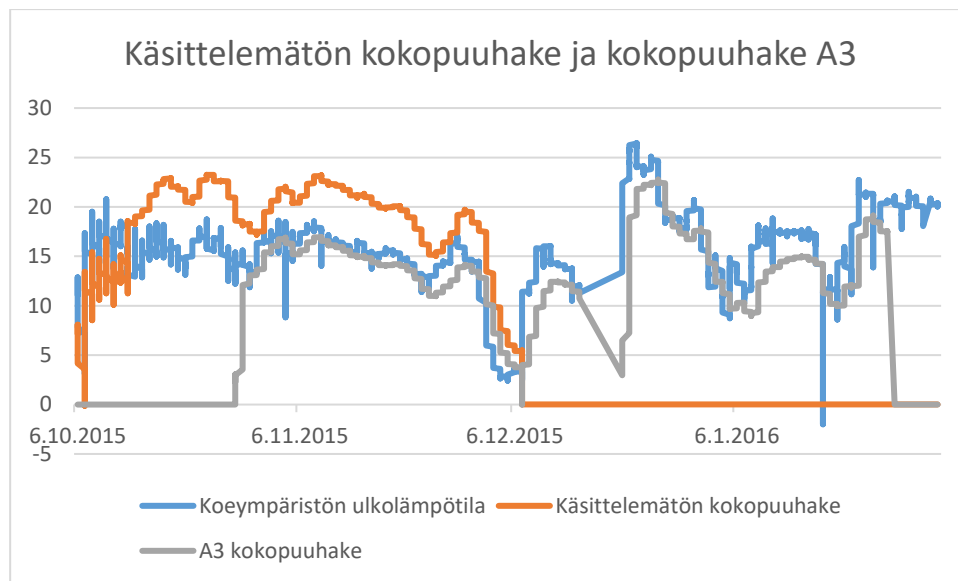
Kuvio 5. Käsittelemätön karsittu rankahake ja karsittu rankahake A2

Ulkolämpötila sahasi tasaisesti 15 °C molemmin puolin, lukuunotettumatta 7.12.2015 käsittelimättömien hakkeiden pois ottamista, jolloin rekan kontti oli pitempään auki. Lämpötilan suuri nousu tässäkin tapauksessa johtui siitä, että konttiin laitettiin lisälämmitin. Lämpötilan äkillinen putoaminen joulukuussa johtui muutamman tunnin sähkökatkaisuun.

Käsittelimättömässä kokopuuhakkeessa lämpötila oli lähes kokeen loppuun saakka yli 20 °C. Hakkeen korkea lämpötila ja kosteus homehduttivat haketta. Vastaavasti käsitellyn rankahakkeen lämpötila pysyi matalana, joten hakkeessa ei tapahtunut suurta homehtumista. Äkillisiä lämpötilojen putoamisia selittävät käsittelimättömän hakkeen pois ottaminen kontista. Joulukuun ja tammikuun pakkaset vaikuttivat lämpötilojen vaihteluihin. Joulukuussa oli myös muutaman tunnin sähkökatko.

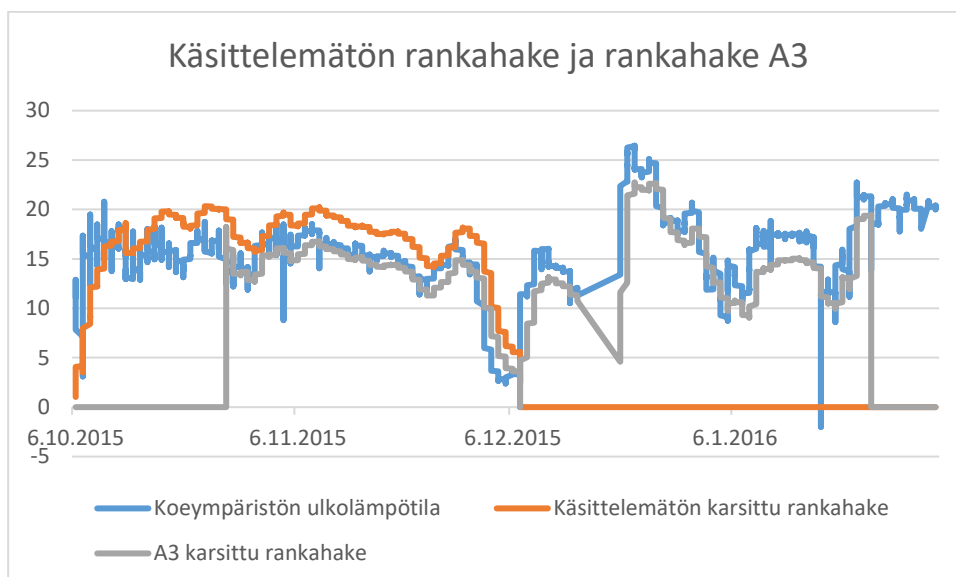
Käsitellyn kokopuuhakkeen tuloksia voidaan pitää onnistuneita.

5.4 Käsittelyt- ja käsittelemättömät kokopuu ja rankahake-erät A3



Kuvio 6. Käsittelemättömät kokopuuhake ja A3 kokopuuhake

Käsittelemättömän kokopuuhakkeen lämpötila oli syksystä joulukuuhun 15-20 °C välillä. Käsitellyn kokopuuhakkeen lämpötila seurasi kontin lämpötilaa tiiviisti. Jälleen joulukuun lopussa lämpötila laski samoista syistä kuin muissakin koe-erissä samaan aikaan.



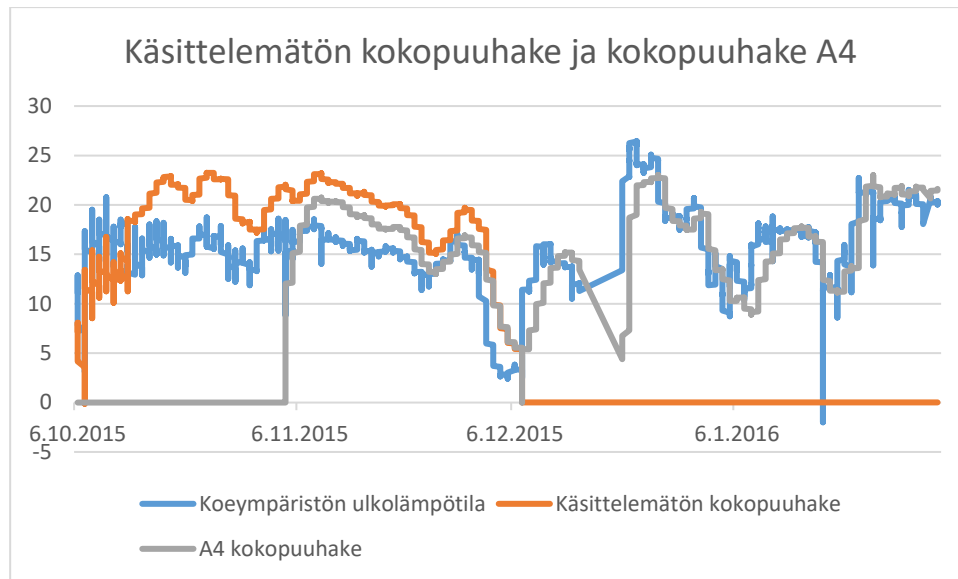
Kuvio 7. Käsittelemätön karsittu rankahake ja A3 karsittu rankahake

Käsittelemättömän rankahakkeen lämpötiläkäyrä säilyi 20 asteen molemmin puolin kokeen loppuun saakka. Koska hakkeen lämpötila oli korkeampi, kuin kontin lämpötila, tapahtui hakkeessa mikrobitoimintaa.

Käsitellyn rankahakkeen lämpötila seurasi marraskuun alusta lukien tiiviisti kontin lämpötilaa lähes koko koejakson ajan. Poikkeuksen tekee jälleen joulukuun loppu, jolloin lämpötila hakkeessa laski noin 3 asteeseen.

Käsitellyn rankahakkeen tulokset olivat hyvin samanlaisia, kuin käsittelyllä kokopuuhakkeellakin.

5.5 Käsittely- ja käsittelemättömät kokopuu- ja rankapuu-hake-erät A4



Kuvio 8. Käsittelemättömät kokopuuhake ja kokopuuhake A4

Käsittelemättömän hakkeen lämpötila nousi kontin lämpötilaa korkeammaksi heti kokeen alusta lähtien ja säilyi korkeampana koko kokeen ajan. Käsitellyn kokopuuhakkeen lämpötila nousi kontin lämpötilaa korkeammaksi kokeen alkupuoliskolla, mutta oli joulukuun puolestavälistä lähtien kokeen loppuun saakka alempana, kuin kontin lämpötila. A4 hakeissa oli hometta.

Käsitellyn rankahakkeen lämpötila seurasi varsin tarkasti kontin lämpötilaa koko koejakson ajan. Kuitenkin joulukuun lopussa havaittiin jälleen lämpötilassa piikki alaspäin kontin lämpötilan laskiessa noin 12 asteeseen.

Referenssihakkeen lämpötilaero käsiteltyyn hakkeeseen verrattuna oli 1-5 astetta, eli referenssihakkeen lämpötila oli koko koejakson ajan korkeampi.

6 Johtopäätökset

Jokaisessa koejärjestelyssä havaittiin sekä käsittelemättömien hakkeiden, että käsiteltyjen hakkeiden lämpötilojen seuraavan varastokontin lämpötilavaihteluita. Varaston sisälämpötilan kohotessa hakkeiden lämpötilat nousivat ja päinvastoin. Poikkeuksen tästä muodostivat ne hake-erät, jotka siirrettiin pois kontista kattilatestauslaboratorioon. Tällöin lämpötila pysyi varsin vakiona, johtuen tasaisesta sisäilman lämpötilasta.

Käsittelemättömien hakkeiden lämpötilat olivat lähes aina korkeampia, kuin varastokontin ilman lämpötila. Käsiteltyjen hake-erien lämpötilat seurasivat varastokontin lämpötilaa ja sen vaihteluita. Poikkeuksen tekevät A1 erän karsittu rankapuuhake ja kokopuuhake, jotka siirrettiin kontista kattilantestauslaboratorioon, jossa huonetilan lämpötila oli tasainen ja kontin lämpötilaa korkeampi, kuten yllä on kerrottu.

Erilaiset häiriöt vaikuttivat hakkeiden lämpötilaan nopeasti. Esimerkiksi kontin oven aukaisu tai sähkökatkot laskivat hakkeen lämpötilaa selvästi.

Lämpötila on yksi tekijä, joka vaikuttaa hakkeen laatuun. Muita ovat esimerkiksi hakkeen kosteus, tuoreus, puulaji jne. Lämpötila yksinään ei kerro, miksi hake pilaantuu, tämän vuoksi hakkeen varastoinnissa tulee huomioida useamman tekijän vaikutus.

7 Pohdinta

Tutkimuksessa lämpötilanseuranta oli teknisesti mahdollista toteuttaa, koska tutkittavaa haketta oli vähän. Hakeaumoissa lämpötila-anturien asentaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi aumojen tekemisen yhteydessä. Hakkeen laatuun vaikuttaviin tekijöihin voidaan vaikuttaa erilaisilla varastointi tavoilla. Esimerkiksi varastoiminen hallissa estää kastumista, mutta ei kuitenkaan välttämättä estä hakkeen laadun huonontumista.

Hakkeen varastointi aumoissa vaatii tutkimusta ja laitteiden kehittämistä siten, että lämpötilan seuranta voidaan tehdä aumoista varastoinnin aikana. Lämpötilanseuranta on tekijä, jota tulee tehdä, koska se antaa tietoa auman mikrobitoiminnasta. Mitä suurempia lämpötiloja aumasta mitataan, sitä enemmän energiaa häviää mikrobitoiminnan vuoksi. Tämän takia aumojen lämpötilan seuranta tulisi olla normaalia toimintaa hakkeen varastoinnin yhteydessä.

Lähteet

2011. Artikkeliki hakekasa syttyi itsestään Heinolassa. Etelä-Suomen Sanomat.
<http://www.ess.fi/uutiset/paijathame/2011/08/19/hakekasa-syttyi-itsesta-heinolassa>.

2015. Artikkeliki hakeauma syttyi tuleen Lumijoella. Kaleva.
<http://www.kaleva.fi/uutiset/pohjois-suomi/hakeauma-syttyi-tuleen-lumijoella/693843/>.

Jylhä, P .n.d. Uutiskirje. Forest energy2020. Luke.
<http://www.forestenergy2020.org/fi/uutiskirjeet/uutiskirje-1-14/hakkeen-aumakoe/:icmsmode/clear>.

Jämsén, M. n.d. Mikrobitointia voidaan rajoittaa energiahakkeen aumavarastoinnissa. Energiahanke. Tutkija.<http://www.jamk.fi/fi/Tutkimus-ja-kehitys/projektit/biopooli/biopooli/mikrobitointia-voidaan-rajoittaa-energiakhakkeen-aumavarastoinnissa/>

Haikonen, T. 2005. Tutkimus biopolttaineen aumakuivauksesta. Tutkimus. Motiva. Viitattu 2.5.2016.

http://www.motiva.fi/files/7939/Tutkimus_biopolttaineiden_aumakuivauksesta.pdf

Himmanen, J. 2016. Rankahakkeen laadunhallinta aumavarastoinnissa. Diplomityö. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Lappeenranta. Viitattu 25.4.2017.
<http://www.doria.fi/handle/10024/122014>.

Hämäläinen, H. 2012. Energiapuun varastointi: Energiapuun varastointiohje. Mikkelin ammattikorkeakoulu. <http://theseus.fi/handle/10024/40083>.

Koljonen, V.2010. Raaka- ja bioenergian välivarastointi Keski-Suomessa. Jyväskylän Ammattikorkeakoulu. <http://www.theseus.fi/handle/10024/14356>.

Lahtela, V. 2016. Viljelijä. Haastattelu. Viitattu 3.5.2016.

Leinonen, J. 2010. Mankeliin menevän hakevirran optimointi. Saimaan Ammattikorkeakoulu. <http://theseus.fi/handle/10024/16572>.

Lepistö, T.2010. Laatuhaakkeen tuotanto-opas. Kehittyvä metsäenergia-hanke. Sastamala. Viitattu 25.4.2017.

Nurmi, J. 1990. Polttohaakkeen varastointi suurissa aumoissa. Metsäntutkimuslaitos. Helsinki. Viitattu 25.4.2017. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/522350>.

Raitila, J. 2014. Energiapuun kuivuminen rankana ja haakeena. Biolämpö-hanke. VTT. Saarijärvi.

Raitila, J, Virkkunen M ja Heiskanen V-P. 2014. Metsäpolttaineiden varastoitavuus runkoina ja haakeena sekä lämmöntuotannon integroitu metsäpolttaineen kuivaus. Tutkimusraportti. VTT. Jyväskylä.

SKS Automaatio Oy. Miten Pt-100-anturi toimii. Vantaa.
<http://www.skssensors.fi/faq/miten-pt100-anturi-toimii/>

Tirronen, T. 2016. Hakkuutähdenhakkeessa tapahtuvat muutokset aumavarastoinnissa ja niiden vaikutukset kuiva-ainetappioon. Opinnäytetyö. Karelia Ammattikorkeakoulu. Joensuu. Viitattu 25.4.2017.
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/105843/Tirronen_Tuula.pdf?sequence=1.

Torvelainen, J. 2014. Puun energiakäyttö. Metla. Viitattu 2.5.2016.
<http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/laatu/puupolttoaine.htm>.

Liitteet

Liite 1. Veikko Lahtelan haastattelukysymykset

1. Minkälainen hakkuri teillä on?
2. Mitä puulajeja käytit hakettaessa?
3. Minkälaisia hakkeita teit?
4. Milloin teit mitäkin haketta?
5. Millä aikataululla teit mitäkin haketta?
6. Kuinka kauan meni aikaa yhdessä ja kahdessa hakesäkissä?
7. Kuinka paljon meni keskimäärin haketta yhteen säkkiin?

Kuviot

Kuvio 1. Käsitlemätön kokopuuhake ja karsittu rankahake

Kuvio 2. Käsitlemätön kokopuuhake ja kokopuuhake A1

Kuvio 3. Käsitlemätön karsittu rankahake ja karsittu rankahake A1

Kuvio 4. Käsitlemätön kokopuuhake ja A2 kokopuuhake

Kuvio 5. Käsitlemätön karsittu rankahake ja karsittu rankahake A2

Kuvio 6. Käsitlemättömät kokopuuhake ja A3 kokopuuhake

Kuvio 7. Käsitlemätön karsittu rankahake ja A3 karsittu rankahake

Kuvio 8. Käsitlemättömät kokopuuhake ja kokopuuhake A4

Taulukot

Taulukko 1. Tutkimuksen koejärjestely